SSNV130 – Tuyau droit fissuré en élasto-plasticité soumis à une flexion

Résumé :

Le problème considéré est un tube droit fissuré avec défaut circonférentiel semi-elliptique en peau interne. Le tube droit est soumis à un moment de flexion. Ce test permet de calculer le taux de restitution d'énergie local en fond de fissure par la méthode G-thêta (commande CALC_G). Le taux de restitution d'énergie local est calculé suivant l'interpolation LINEAIRE. Les couronnes d'intégration sont définies par la donnée du nombre de couches (NB_COUCHE_INF et NB_COUCHE_SUP).

La valeur de G en fond de fissure est comparée à une note utilisée pour la validation des méthodes simplifiées en mécanique de la rupture.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Il s'agit d'une fissure circonférentiel semi-elliptique débouchant en peu interne plongée dans un tuyau droit. On ne modélise qu'un quart de tuyau :

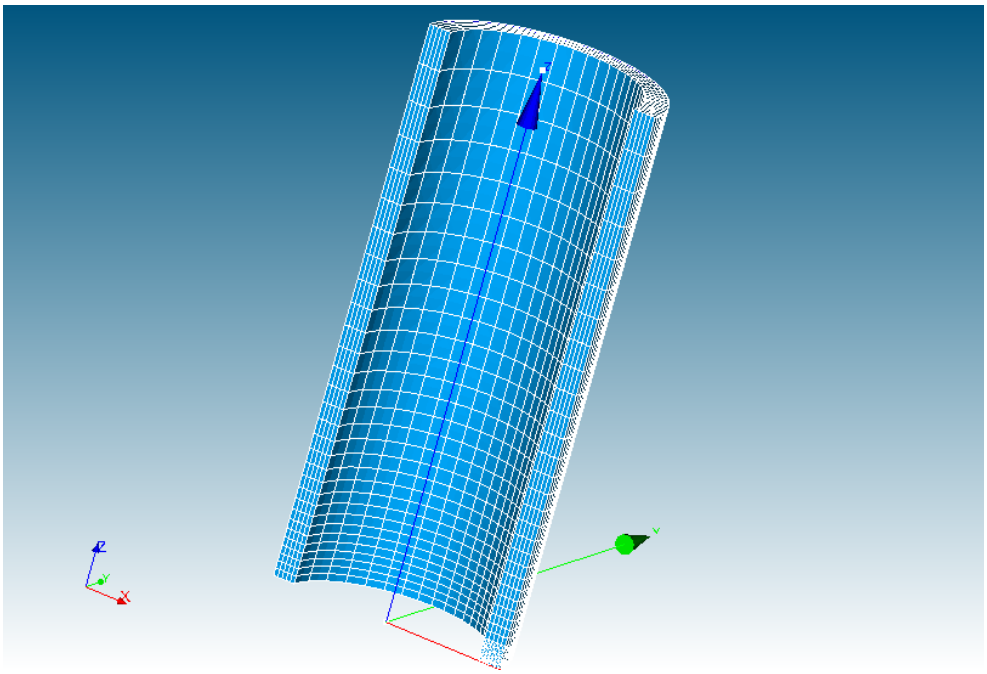


Figure 1.1-1: géométrie du tube droit

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

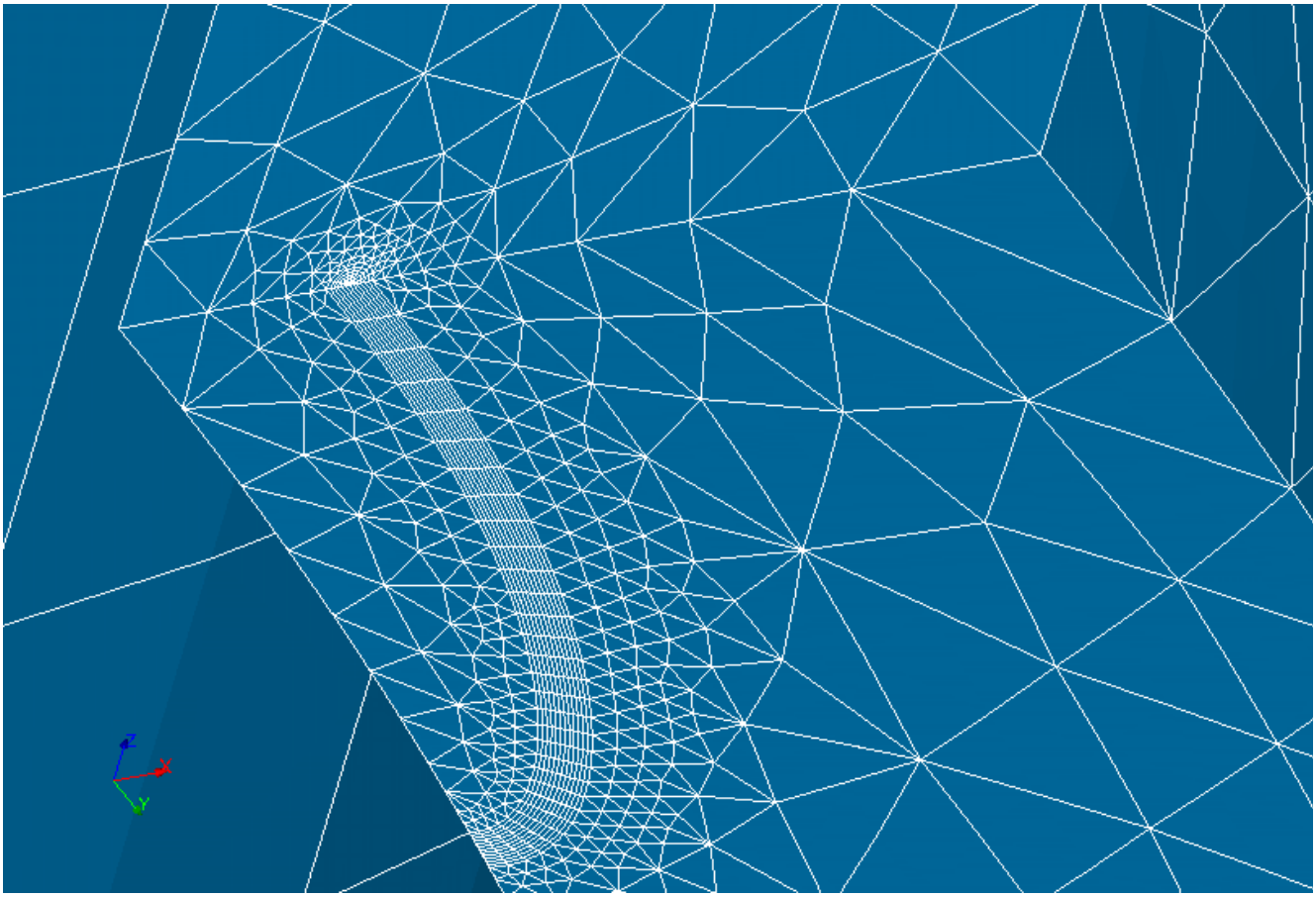


Figure 1.1-2: Géométrie du défaut

Le tube a pour longueur 1 500 mm, pour épaisseur 60 mm, et pour rayon interne 270 mm.
Le défaut est de profondeur 15 mm et de longueur 45 mm.

1.2 Propriétés matériaux

L'acier austénitique 316L à 350°C- est utilisé pour toutes les modélisations.

$$E = 177000\ MPa$$
$$\nu = 0.3$$
$$\sigma_y = 120\ MPa$$

La lois de comportement de matériau varie pour chaque modélisation.

Élastique linéaire ('ELAS', modélisation A)
Élastique non linéaire ('ELAS_VMIS_TRAC', modélisation B)
Élasto-plastique ('VMIS_ISOT_TRAC', modélisation C)
Ci-dessous la courbe de traction utilisée .

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

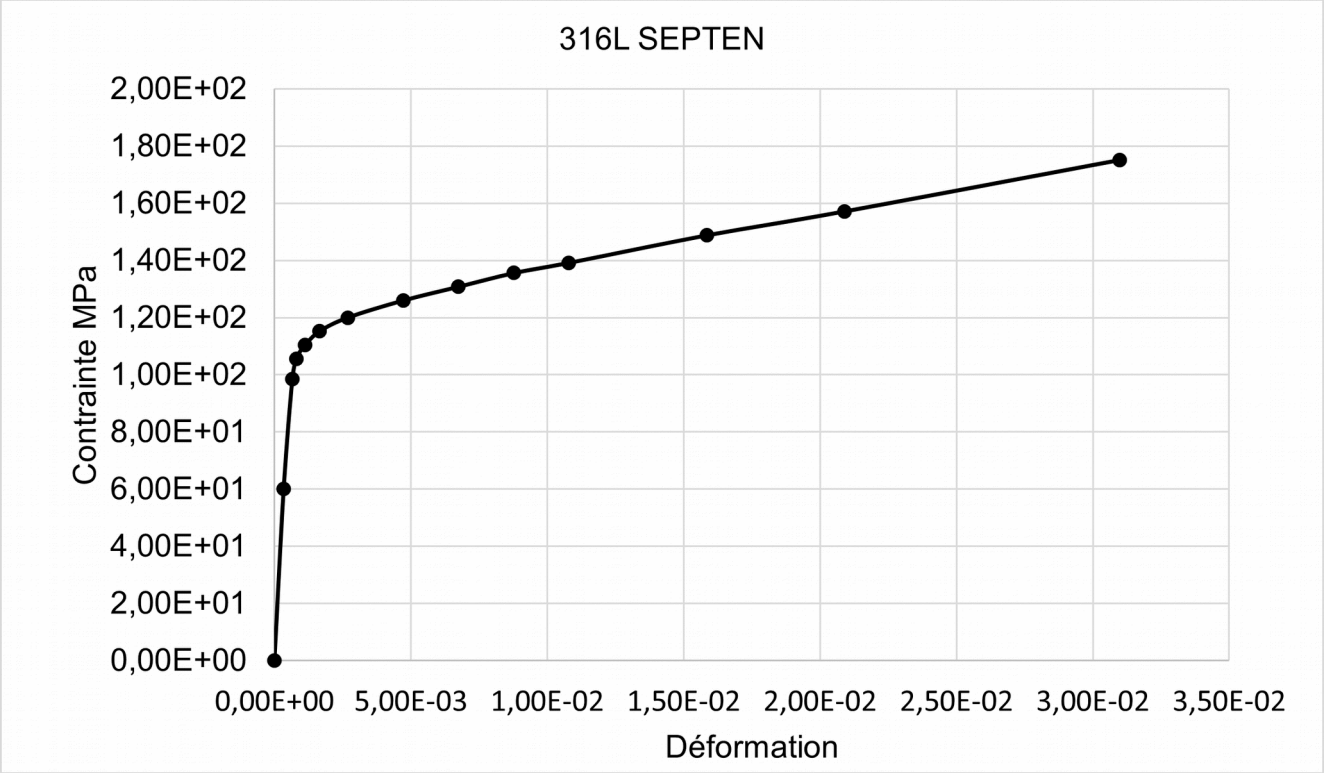


Figure 1.2-1: courbe de traction acier austénitique 316L à 350°C fournie par [bib1].

1.3 Conditions aux limites et chargements

Symétrie par rapport aux 2 plans principaux :

$U_Y = 0.$ dans le plan $Y = 0$.

$U_Z = 0.$ dans le plan $Z = 0.$ hors de la fissure

Mode rigide sur l'axe X .

U_X moyenne dans les nœuds NODE_CENTRE_FISS_T et NODE_CENTRE_FISS_TM est nulle.

Les conditions de chargements est:
Un moment de flexion suivant ($-Y$) sollicitant en ouverture le défaut semi-elliptique de la manière la plus pénalisante.

$M = -5216\,kNm$ où M est le moment sur l'axe Y .

Il est appliqué à l'extrémité du tube par l'intermédiaire d'une distribution linéaire suivant x de contraintes axiales σ_{zz}

$\sigma_{zz} = \dfrac{M\,x}{I}$ dans le plan $Z = 1500\,mm$

où I est le moment quadratique de flexion. $I = \pi \dfrac{\left(R_{\text{ext}}^4 - R_{\text{int}}^4\right)}{4}$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence est une solution numérique issue de la note [bib1]. Cette note avait pour but de valider les méthodes simplifiées en mécanique de la rupture. Les résultats de cette note ont été obtenus avec la version 3 de code_aster.

[bib1] donne la valeur de J_{fond} pour différents niveaux de chargements m .

$$m=\frac{M}{4\,\sigma_y R^2 t}$$

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

$M\,(Nmm)$	m	$J_{\text{fond}}(KJ/m^2)$	$J^e_{\text{fond}}(KJ/m^2)$
5.216 10^9	2.013	9.8 10^2	1.91 10^1

Où :

$J_{\text{fond}}(KJ/m^2)$ est la valeur de l'intégrale J en fond de fissure pour une loi de comportement élasto-plastique.

$J^e_{\text{fond}}(KJ/m^2)$ est la valeur de l'intégrale J en fond de fissure pour une loi de comportement élastique linéaire.

2.2 Bibliographie

1) P. CAMBERFOR – Y. GUELORGET : FICHE 3479- Calculs de tuyaux droites avec défauts circonférentiels semi-elliptiques et axisymétriques charges en moment et pression+moment. Direction de l'équipent EDF. Service études et projets thermiques et nucléaires. 1998.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Loi de comportement é lastique linéaire ('ELAS')

Éléments Barsoum : OPTION='NOEUD_QUART' sur le GROUP_NO_FOND='FRONT_NODES' en utilisant la commande MODI_MAILLAGE

Chargement : Moment de flexion suivant ($-Y$) répartie sur la face du tuyau supérieur.
$M=-5216\,kNm$ où M est le moment sur l'axe Y .

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 40069
Nombre de mailles et types :
3D_SI : 8450 TETRA10 et 5580 HEXA20
3D : 240 PENTA15, 295 PYRAM13

3.3 Grandeurs testées et résultats

La valeur testée est le taux de restitution d'énergie local J^e_{fond} sur le nœud en fond de fissure. (option G de CALC_G). Ce valeur est testée pour une couronne d'intégration défini par NB_COUCHE_INF=2 et NB_COUCHE_SUP=5.

Identification	Référence	Valeur calculée	% tolérance
$J^e_{\text{fond}}(kJ/m^2)$	1.91 10^1	1.94 10^1	2

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Loi de comportement é lastique non linéaire ('ELAS_VMIS_TRAC')

Chargement : Moment de flexion suivant ($-Y$) répartie sur la face du tuyau supérieur.
$M=-5216\,kNm$ où M est le moment sur l'axe Y .

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 40069
Nombre de mailles et types :
3D_SI : 8450 TETRA10 et 5580 HEXA20
3D : 240 PENTA15, 295 PYRAM13

4.3 Grandeurs testées et résultats

La valeur testée est le taux de restitution d'énergie local J_{fond} sur le nœud en fond de fissure. (option G de CALC_G). Ce valeur est testée pour une couronne d'intégration défini par NB_COUCHE_INF=2 et NB_COUCHE_SUP=5.

Identification	Référence	Valeur calculée	% tolérance
$J_{\text{fond}}(KJ/m^2)$	$9.8\ 10^2$	$1.025\ 10^3$	6

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Loi de comportement é lasto-plastique('VMIS_ ISOT_ TRAC')

Chargement : Moment de flexion suivant ($-Y$) répartie sur la face du tuyau supérieur.
$M=-5216kNm$ où M est le moment sur l'axe Y .

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 40069
Nombre de mailles et types :
3D_SI : 8450 TETRA10 et 5580 HEXA20
3D : 240 PENTA15, 295 PYRAM13

5.3 Grandeurs testées et résultats

La valeur testée est le taux de restitution d'énergie local J_{fond} sur le nœud en fond de fissure. (option G de CALC_G). Ce valeur est testée pour une couronne d'intégration défini par NB_COUCHE_INF=2 et NB_COUCHE_SUP=5.

Identification	Référence	Valeur calculée	% tolérance
$J_{\text{fond}}(KJ/m^2)$	9.8 10^2	1.254 10^3	30

Remarque

Dans l a référence utilisée [bib1], aucune valeur de comparaison n'est disponible pour la loi de comportement 'VMIS_ ISOT_ TRAC'. En effet, cette référence utilise uniquement une loi de comportement élastique non linéaire. D'où l'écart important observé pour cette modélisation C.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Synthèse des résultats

Pour les modélisations A et B, on observe un écart de quelques % par rapport à la solution de référence. Cet écart est considéré comme acceptable.

Pour la modélisation C, en l'absence de référence utilisant une loi de comportement élasto-plastique, on compare à la solution élastique non linéaire de la référence. On observe donc un écart bien plus important.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)